

ПЕРСПЕКТИВЫ СНИЖЕНИЯ ПЫЛЕВЫНОСА ИЗ СУШИЛЬНОГО БАРАБАНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭНЕРГИИ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

В.И. Матюхин, В.Л. Советкин, В.А. Дудко, А.В. Матюхина

ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
(г. Екатеринбург, Россия)

Работа сушильного барабана характеризуется наличием до 25–30 % пылевыноса мелких фракций шихты. Для снижения выноса пыли предлагается использовать внутривибриционное пылеосаждение с применением энергии акустического поля. При наличии резонанса частот внешнего акустического поля и собственной частоты частиц пыли имеет место возникновение низкочастотных мелкомасштабных контуров движения частиц без отклонения их от первоначальной траектории движения с разрушением пограничного слоя вдоль твердой поверхности.

Формирование акустического поля в слое предлагается осуществлять при помощи акустического излучателя типа свистка Гартмана с применением волноводов различной конструкции.

Промышленные испытания использования энергии акустического поля для интенсификации тепломассообменных процессов на ряде технологических агрегатов (агломашина, плотный слой печи полимеризации, чугунолитейные и минераловатные вагранки, шахтный агрегат цветной металлургии) показали широкие возможности применения этого способа.

Ключевые слова: сушильный барабан, энергия акустического поля, резонанс частот колебаний частиц и поля, снижение пылевыноса.

The work is characterized by the drying drum to 25–30 % dust-charge fines. To reduce dust loading is proposed to use vnutripechnoe pyleosazhdenie using the energy of the acoustic field. If there is a resonance frequency of the external acoustic field, and the natural frequency of the dust particles takes place the emergence of small-scale low-frequency circuits particle motion without deviating from their original motion path to the destruction of the boundary layer along the solid surface.

Formation of the acoustic field in the layer is invited to perform with the help of an acoustic transducer type whistle Hartmann using waveguides of various designs.

Industrial tests of the acoustic energy field to intensify heat and mass transfer processes in a number of technological units (sintering machine, a dense layer of the curing oven, iron foundries and mineral cupola, mine machine non-ferrous metallurgy) have shown wide range of applications of this method.

Keywords: drying drum, the energy of the acoustic field, the resonance frequencies of oscillations of the particles and fields, dust-reduction.

В соответствии с технологией сушки мелкодисперсных материалов во вращающемся барабане ее реализация предполагает присутствие до 25–30 % пылевыноса мелких фракций шихты, которые улавливаются при помощи внешних отдельно стоящих пылеосадительных аппаратах с последующим возвратом уловленных частиц обратно в процесс. Практика эксплуатации

аналогичных агрегатов показывает, что использование рециркуляции пылеватых частиц приводит к увеличению расхода топлива на отопление барабана как минимум на 20 %. При этом будет наблюдаться износ транспортирующего оборудования, что увеличивает его эксплуатационные затраты. В то же время наличие существенных колебаний влажности исходных компонентов может нарушить технологию сушки материалов с повышением их остаточной влажности. Существующее технологическое оборудование позволяет изменять кинетику сушки только пассивно с использованием традиционных средств управления (расход теплоносителя и его температуры).

Использование способов пассивного пылеулавливания при сушке исходных материалов не обеспечивает нужную степень обеспыливания и существенно удорожает конструкции этих устройств. Кроме того, для переработки уловленной пыли требуется отдельная цепочка технологического оборудования, включая сбор, транспортировку и шихтоподготовку. Учитывая существенную величину массовых потоков газов и мелких частиц процесс пылеосаждения частично (до 20–25 %) предлагается осуществлять непосредственно в рабочем пространстве вращающегося барабана с использованием энергии акустического поля.

Экспериментальными исследованиями как в лабораторных условиях на укрупненной установке типа «Аглочаша», так и на ряде промышленных агрегатов (чугунолитейная и минераловатная вагранки, вращающиеся печи глиноземного производства, агломерационная машина и др.) было установлено, что при воздействии на запыленный газовый поток акустическим полем заданных параметров частицы пыли совершают дополнительно направленные колебательные движения. Внешнее акустическое поле, создаваемое в гомогенном пространстве, является источником вибрационного воздействия на движущиеся частицы пыли. Это происходит вследствие локального периодического изменения газового давления от положительного до отрицательного. Избыточное давление газов между частицами, вызванное внешними колебаниями, компенсируется оттоком избыточного или недостающего количества газов в направлении распространения колебаний. При этом происходит возникновение дополнительного потока газовой среды, что способствует интенсификации тепломассообменных процессов на 10–15 %.

При наличии резонанса частот внешнего акустического поля и собственной частоты частиц пыли, вследствие колебаний твердых частиц, амплитуда которых определяется исходными параметрами акустического поля, имеет место возникновение низкочастотных мелкомасштабных контуров движения частиц без отклонения их от первоначальной траектории движения (рис. 1). На каждую твердую частицу запыленного потока плотностью ρ , находящуюся в поле внешних акустических колебаний амплитудой A и угловой частотой ω в газовой среде со скоростью звука c , действует суммарное давление

$$P = P_0 + A \cdot \rho \cdot c \cdot \omega \cdot \cos\left(\omega\left(t - \frac{x}{c}\right)\right), \text{ атм.}$$

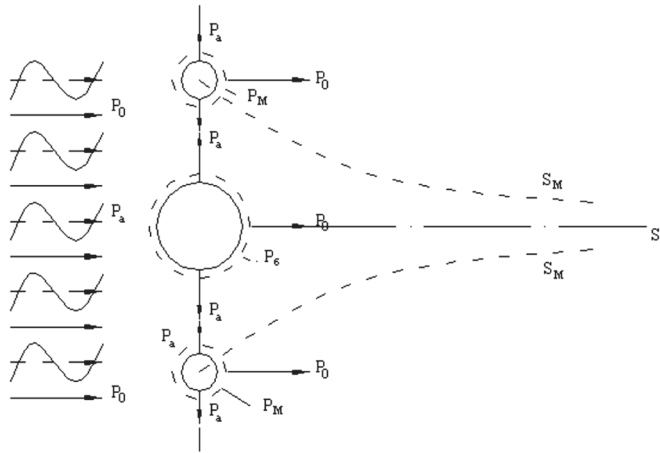


Рис. 1. Схема акустического воздействия на твердые элементы слоя:
 P_0 – статическое давление газового потока; P_a – акустическое давление; P_M – разрежение около малых элементов; P_6 – разрежение около больших элементов; S_M – траектория движения малых элементов; S_6 – траектория больших элементов

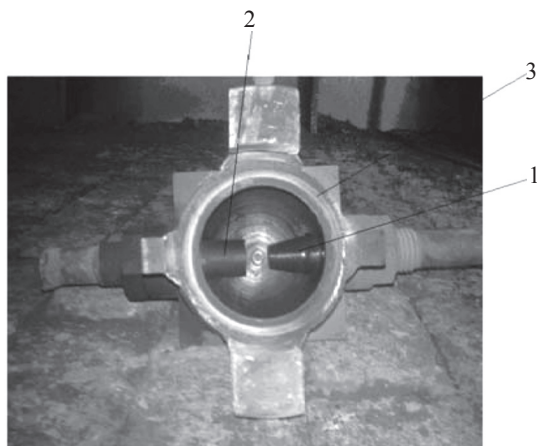
При этом помимо общего давления движущегося газа P_0 во внешнем акустическом поле с уровнем звука J действует дополнительная периодическая сила с амплитудой колебаний

$$P_a = A \cdot \rho \cdot c \cdot \omega = \frac{\rho \cdot c \cdot \omega}{\omega} \sqrt{\frac{2J}{\rho \cdot c} \cdot 10^7} = \sqrt{2J\rho c}, \text{ атм}, \quad (1)$$

величину которой можно изменять через конструктивные и технологические параметры процесса с изменением величины входных воздействий. Последние вызывают разрушение пограничного слоя около колеблющихся частиц и появлением дополнительных конвективных потоков.

В разреженных средах могут возникать крупномасштабные контуры циркулирующих групп частиц, которые приводят к появлению поршневого эффекта. Явление поршневого эффекта проявляется в образовании около периодически движущихся частиц локального вакуума, что вызывает образование дополнительных конвективных потоков. Абсолютные значения локального давления и разрежения зависят от частоты и амплитуды колебаний. При этом частота внешнего поля должна совпадать с собственной частотой колебаний основной массы частиц. Экспериментальные замеры локальных давлений в слое на примере виброкипящего слоя показали возможность достижения его величины до 20000 Па. Наиболее ощутимо этот эффект проявляется в условиях тех технологических процессов, где имеют место малые значения скоростей движения газов, а газовый поток отличается повышенным содержанием пыли. Чем больше поперечный размер частиц, тем больше уровень создаваемого ей разрежения. Поэтому при формировании акустического поля заданных параметров будет происходить перемещение мелких частиц к крупным с последующей их коагуляцией и выпадением из основного потока.

Рис. 2. Акустический излучатель:
1 – сопло; 2 – резонатор; 3 – фокусирующая плоскость



Формирование акустического поля в слое предлагается осуществлять при помощи акустического излучателя (рис. 2, 3) с применением волноводов различной конструкции.

Акустический излучатель представляет собой разновидность газодинамического свистка Гартмана и состоит из сопла, резонатора и фокусирующей плоскости. Питание его осуществляют компрессорным воздухом или паром давлением не ниже 3,0 атм в количестве 50–80 м³/ч. Установка этого устройства производится за пределами рабочего пространства, что облегчает его монтаж, обслуживание и эксплуатацию, а также снижает требования к материалам, из которых он изготавливается (рис. 4). Использование же акустического поля непосредственно в слое делают его безопасным для обслуживающего персонала.

Промышленные испытания использования энергии акустического поля для интенсификации тепломассообменных процессов на ряде технологических агрегатов (агломашина, плотный слой печи полимеризации, чугунолитейные и минераловатные вагранки, шахтный агрегат цветной металлургии) показали широкие возможности применения этого способа.

Так, промышленные испытания этого процесса в условиях агломашины АК-50 Серовского металлургического завода в течение длительного времени подтвердили безопасность его использования. Кроме того, была показана возможность увеличения производительности агрегата на величину до 15–20 %, повышения глубины протекания основных физико-химических реакций в слое, снижения вредных выбросов из агломашины (CO, NO_x, пыль), уменьшения удельного расхода топлива на процесс на 10–15 %.

На печи полимеризации волокнистых материалов в зависимости от ее конструкции было изготовлено и смонтировано от двух до шести излучателей в камерах вакуумирования и сушки. Их испытания показали возмож-

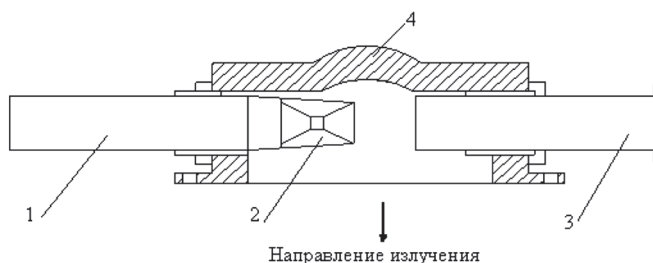


Рис. 3. Конструкция акустического излучателя:
1 – сопловая труба; 2 – воздушное сопло; 3 – резонатор; 4 – фокусирующая плоскость



Рис. 4. Установка акустического излучателя

ность увеличения производительности агрегата на 30–35 % с улучшением качества использования органического связующего.

Результаты использования энергии акустического поля в рабочем пространстве чугунолитейных и минераловатных вагранок, шахтных агрегатов цветной металлургии (г. Кировград) показали

возможность увеличения производительности плавильных агрегатов на величину 10–15 % при соответствующем снижении расхода кокса и объема вредных выбросов на величину до 20–25 %. При этом отмечается также разрушение образующихся настывей при движении газов и материалов, что повышает производительность плавильного агрегата и уменьшает затраты на его обслуживание.

Формирование поля звуковых колебаний заданных параметров в движущемся запыленном потоке мелкодисперсной шихты вращающихся печей глиноземного производства Богословского алюминиевого завода как в направлении движения газов, так и в противоположную сторону позволили установить устойчивую тенденцию снижения пылевывоса за пределы рабочего пространства на величину до 40 %. При этом наблюдалось более полное завершение всех химических преобразований в твердых компонентах с разрушением образующихся настывей на внутренней поверхности барабана.

Замеры состояния окружающей среды в районе испытаний позволили установить незначительное изменение условий работы обслуживающего персонала по уровню звукового давления.

Анализ данных промышленных испытаний использования энергии акустического поля в рабочем пространстве ПЖВ (СУМЗ, г. Ревда) показал, что при примерно одинаковых расходных характеристиках исходных компонентов применение энергии акустического поля приводит к снижению выноса пыли на 10,94 %. При этом внутривспенивание пыли приводит к возрастанию выхода штейна примерно на 406 кг/ч и шлака на 1299 кг/ч. При среднем содержании меди в штейне 51,7 % это обеспечивает возможность увеличения количества получаемой меди на величину до 210 кг/ч.

Результаты испытаний на конвертере № 2 ОАО «СУМЗ» с использованием энергии акустического поля двух излучателей с давлением 3,0 атм, установленных в пылевой камере, и двух излучателей на входе в циклоны показали, что в первый период конвертирования расплава общая степень пылеочистки газов возрастала до 56–72 %. Во втором периоде степень пылеосаждения с использованием акустических излучателей увеличивалась в среднем на 22 %.

Если система пылеочистки связана непосредственно с технологическим агрегатом путем циркуляции газов или пылевых компонентов, то эффект акустического воздействия на отдельные ее устройства могут оказывать существенное влияние на условия работы всего процесса. Так, при установке

акустических излучателей на входном патрубке циклона обжиговой многоподовой печи ОАО «СВЯТОГОР» его суммарный КПД изменялся по сравнению с обычным режимом с 57,14 до 70,49 %, т.е. на 13,35 абс. % или на 23,36 отн. % за счет коагуляции пыли непосредственно при движении газового потока в рабочем пространстве циклона.

Для оценки изменения условий пылеосаждения в пылевой камере вельщепи и очистки теплообменных поверхностей котла на отходящих газах (ОАО «Челябинский цинковый завод») акустические излучатели устанавливались на пылевой камере в торцовой стенке навстречу движению газов, а на теплообменных поверхностях котла – в верхней области подъемного канала против движения газов. Было показано, что при прочих равных условиях использование энергии акустического поля позволяет увеличить выход оборотной пыли на 8,74 % за счет интенсификации процесса внутриагрегатной коагуляции в осадительной камере на величину до 25–30 %, выход вельщепы на 2,99 % за счет снижения гидравлического сопротивления пылевой камеры и котла при увеличении действительной скорости движения газов.

Установка акустического излучателя в верхней части конвективных теплообменных поверхностей для разрушения образованного на них пылевого слоя привела к снижению температуры отходящих газов на выходе из экономайзера на 20° или 6,97 %, увеличению общего давления пара в баке-сепараторе на 19,7 %, повышению производительности котла-утилизатора на 23,19 % по пару за счет интенсификации теплообменных процессов.

Формирование акустического поля осуществляют при помощи волноводов, изготавливаемых из стальной трубы диаметром 134 мм, один конец которой заводится непосредственно в рабочее пространство со стороны стационарных головок (нужно выбрать способ установки) в зоне, характеризующейся пониженной интенсивностью прогрева. Другой конец трубы располагают за пределами рабочего пространства в месте, удобном для монтажа и обслуживания. На него монтируют акустический излучатель.

Количество излучателей определяется расчетом и корректируется экспериментально, каждый из которых состоит из собственно акустического излучателя, волновода для формирования акустического поля непосредственно в печи, системы подвода воздуха и КИП. Простота конструкции и отсутствие движущихся частей существенно снижают затраты на его обслуживание.

Акустическое поле в слое создается компрессорным воздухом давлением не ниже 3 атм при максимальном расходе не более 50 м³/ч или паром с давлением не ниже 4 атм. Подвод энергоносителя следует производить металлическими трубами.

Для контроля за работой установки необходимо использовать манометр для измерения давления компрессорного воздуха. Для обеспечения заданного режима акустического поля по мощности необходимо предусмотреть возможность регулирования расхода компрессорного воздуха.

Простота конструкции и способа применения энергии акустического поля, небольшие капитальные затраты на его реализацию, возможность применения на действующем агрегате без нарушения основного технологического процесса позволяет рекомендовать его для промышленных испытаний уже на существующем оборудовании с возможностью внутриагрегатного пылеосаждения на 20–25 % от исходного состояния, а также присутствие ряда дополнительных эффектов открывает возможности дальнейшего совершенствования тепломассообменных процессов.